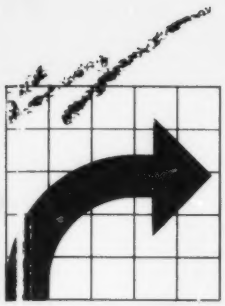
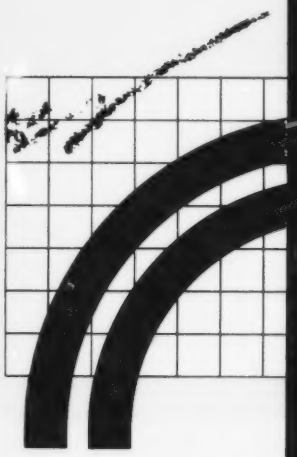
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



LES MÉLANGES BITUMINEUX OUVERTS SUR LES ROUTES GRAVELÉES

JEAN DUGRÉ



GÉNIE
ET ENVIRONNEMENT

Québec

90-01787/

LES MÉLANGES BITUMINEUX OUVERTS SUR ROUTES GRAVELÉES

Dépôt légal, 3e trimestre 1988
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-18739-3

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

FICHE ANALYTIQUE DE RAPPORT

Titre et sous-titre du rapport
LES MÉLANGES BITUMINEUX OUVERTS SUR ROUTES GRAVELÉES

N° du rapport Transports Québec
RTQ-88-10

Rapport d'étape ☐ Rapport final ☒ — An Mois Jour

N° du contrat

Auteur(s) du rapport
JEAN DUGRÉ

Date du début d'étude — Date de fin d'étude

Coût de l'étude

Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)
Direction de la construction
700, boul. St-Cyrille Est (28e)
Québec, Québec
G1R 5H1

Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)
Ministère des Transports
700, boul. St-Cyrille Est
Québec, Québec
G1R 5H1

But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires

Le but de l'étude est de mesurer la performance des mélanges bitumineux ouverts (MBO) posés sur une surface granulaire.

Résumé du rapport

Au début des années 1980, l'augmentation du coût des produits pétroliers a eu un impact important sur les coûts de construction et d'entretien du réseau routier. Au Québec, en 1971, le prix d'une tonne de bitume servant de liant dans les enrobés bitumineux coûtait moins de 50$. Dix ans plus tard, le prix de cette même tonne de bitume atteint presque 200$. En 1981, le bitume est responsable de près de 33% du coût de production d'une tonne d'enrobé bitumineux, alors qu'il dépasse rarement 6% de la masse totale. Le ministère des Transports du Québec a donc envisagé de réduire l'utilisation des bitumes, produits coûteux dans la confection des enrobés bitumineux.

La présente étude porte sur l'utilisation de mélanges ouverts à granulat grossier à basse teneur en bitume qui remplacent, comme couche de base, les mélanges bitumineux denses à plus haute teneur en bitume. L'utilisation des MBO a causé de nombreux problèmes chez les entrepreneurs lors de la confection du mélange, son transport et sa pose. De graves problèmes de stabilité sont apparus, ceux-ci étant causés par l'ensoleillement et la haute température ambiante ou encore par une granulométrie peu étalée à basse teneur en bitume.

L'aspect économique nous indique que le prix de base pour une tonne de mélange MBO est 25% inférieur au mélange de type MB-2. Cependant, en considérant d'autres coûts comme la pose, les rebuts de sable et leur réutilisation, les coûts à l'entrepreneur et à l'usager de la route, il en résulte que le MBO est légèrement plus dispendieux qu'un MB-2. Finalement, s'il y a des chances de succès, elles sont cependant très difficiles a obtenir. Les causes d'échec, elles, sont importantes et variées.

Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
28		2	3		☒ Français ☐ Anglais	

Mots-clés
Construction, entretien, réseau routier, bitume, enrobés bitumineux, mélanges bitumineux ouverts, surface granulaire, mélanges bitumineux denses, couche de base.

Autorisation de diffusion
☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite

Signature du directeur général — Date 88 07 14

V-1773 (85-05)

TABLE DES MATIERES

Table des matières I

Liste des tableaux et figures II

Introduction 1

1. Problématique 2

2. Méthodologie 5

3. Les problèmes 5

3.1- Les problèmes chez l'entrepreneur 5
3.2- Les problèmes causés par la circulation 7
3.3- Les problèmes de pose, de compaction et de transport 8
3.4- Les problèmes de confection du mélange 13
3.5- Les problèmes du contrôle de la qualité 16

4. L'aspect économique 16

4.1- La comparaison des mélanges MBO et MB-2 16
4.2- La fabrication à la centrale 18
4.3- La pose 19
4.4- Les granulats 20
4.5- Les autres considérations 21

5. La somme des coûts 21

5.1- Le coût de base du mélange 21
5.2- Le coût au kilomètre de route pour le mélange 23
5.3- Le coût supplémentaire des accotements si on utilise un MBO 23
5.4- Le coût de pose 23
5.5- Le coût à l'entrepreneur pour utiliser les rebuts de granulats 24
5.6- Les autres coûts 24
5.7- La synthèse des coûts 24

6. La performance 24

7. Conclusion 28

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableaux

I. Prix moyen du bitume pour enrobé bitumineux incluant la taxe de vente provinciale 3

II. Granulométries Types 15

III. Coûts comparatifs du MBO et du MB-2 22

Figures

1. Indice des coûts des contrats d'enrobé bitumineux (couche d'usure) 2

2. Stabilité des MBO 10

INTRODUCTION

Au début des années 1980, l'augmentation du coût des produits pétroliers a eu un impact important sur les coûts de construction et d'entretien du réseau routier. Le Ministère des Transports du Québec (MTQ) a donc envisagé de réduire l'utilisation des bitumes, produits coûteux dans la confection des enrobés bitumineux.

Trois méthodes ont été mises de l'avant, ce sont:

- l'utilisation de mélanges ouverts à granulat grossier à basse teneur en bitume qui remplacent, comme couche de base, les mélanges bitumineux denses à plus haute teneur en bitume;

- la récupération de vieux revêtements qui lors de la réfection de routes étaient auparavant laissés en place ou enfouis dans les remblais. Ces vieux revêtements peuvent être recyclés en les incorporant dans les nouveaux enrobés bitumineux;

- le planage des surfaces de chaussées déjà revêtues d'enrobé bitumineux qui, en plus de permettre la correction des profils et de sauver la pose d'un rapiéçage intensif, permet l'incorporation des résidus de planage dans le nouvel enrobé bitumineux.

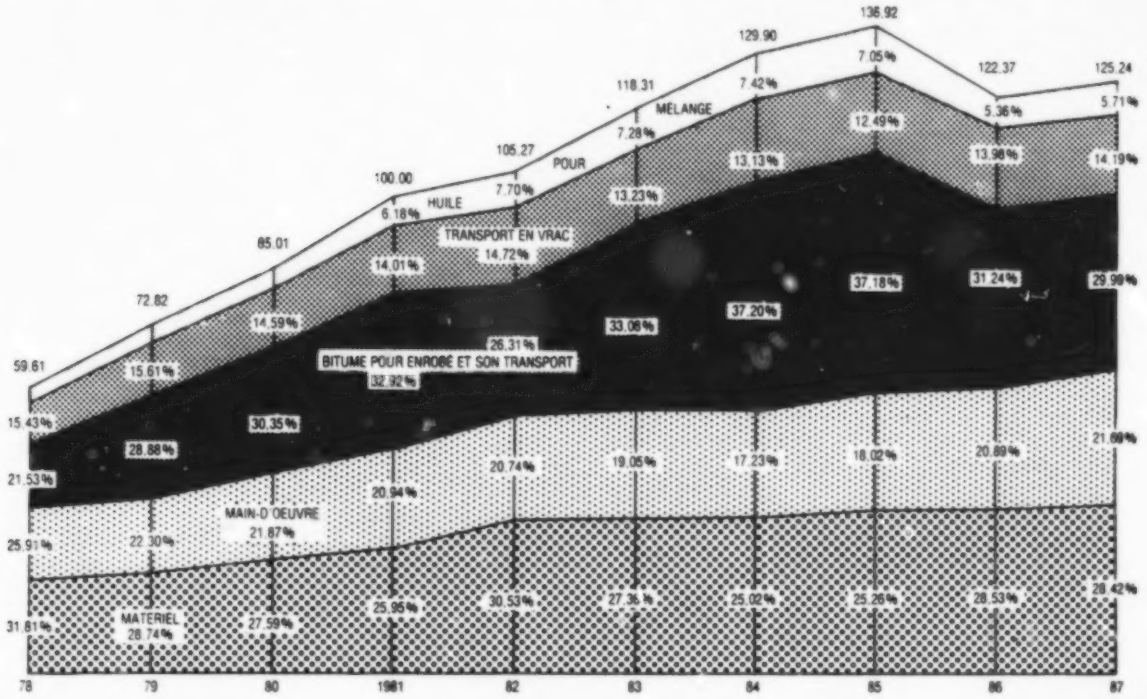
Ce rapport porte sur la performance de la première méthode retenue, soit les mélanges bitumineux ouverts (MBO) posés sur une surface granulaire.

1. PROBLÉMATIQUE

Au Québec, en 1971, le prix d'une tonne de bitume servant de liant dans les enrobés bitumineux coûtait moins de 50 $; 10 ans plus tard, le prix de cette même tonne de bitume atteint presque 200 $ (tableau 1). En 1981, le bitume est responsable de près de 33% du coût de production d'une tonne d'enrobé bitumineux, alors qu'il dépasse rarement 6% de la masse totale (figure 1).

FIGURE 1

INDICE DES COÛTS DES CONTRATS D'ENROBÉ BITUMINEUX (COUCHE D'USURE)



Source: Direction de la construction, Transports Québec, 1987

TABLEAU I

Prix moyen du bitume pour enrobé bitumineux incluant la taxe de vente provinciale

Année	Québec	Montréal
1980	166,00 $	188,00 $
1981	191,00	192,00
1982	162,00	166,00
1983	222,00	225,00
1984	283,00	286,00
1985	300,00	307,00
1986	217,00	220,00
1987	210,00	206,00

Source: Direction de la construction, Transports Québec, 1987.

Afin de diminuer l'utilisation des produits pétroliers, et donc de réduire les coûts de production, il a été décidé de faire une partie des revêtements bitumineux avec des mélanges ouverts à granulat grossier. Ainsi, pour un revêtement bitumineux en deux couches, la couche de base est alors composée d'un mélange bitumineux ouvert à basse teneur en bitume, soit moins de 3%. Mais, afin de conserver au revêtement sa capacité de résister au climat rigoureux du Québec, la couche de surface reste un mélange conventionnel dense avec une teneur en bitume d'environ 5,5%.

L'utilisation d'un mélange bitumineux ouvert qui ne comporte qu'un granulat grossier n'était pas nouvelle. En effet, depuis 1976, l'utilisation du mélange ouvert comme couche intermédiaire entre deux revêtements et le comportement de ce revêtement sur des routes à haute densité de trafic (autoroute 20, St-Hyacinthe) indiquent qu'il serait opportun de l'utiliser comme mélange de base pour remplacer le mélange MB-2. D'ailleurs, ce type de

mélange fut largement utilisé sur l'autoroute 20 au début des années 60. La différence avec ce qui se fait aujourd'hui vient surtout de la grosseur nominale du granulat qui est passée de 50 mm à 19 mm pour permettre une utilisation en couche de moindre épaisseur.

L'économie résultant de cette substitution n'avait rien de négligeable car, pour une tonne d'enrobé bitumineux, nous pouvions espérer hypothétiquement une diminution de:

- 2,5% de la teneur en bitume par tonne d'enrobé;
- 4 litres d'huile pour le séchage du granulat;
- 15% de diminution dans la masse totale de l'enrobé bitumineux, car, pour un même volume, un mélange ouvert est plus léger qu'un mélange conventionnel.

Globalement, pour chaque kilomètre de chaussée revêtue, cette méthode permettait d'économiser 7 580 $, soit une économie de 33% par kilomètre selon les prix de 1981. Ainsi, on a pensé que si cette politique avait été appliquée sur la production de 1980, où l'on estimait à environ 150 000 tonnes la quantité de MB-2 posée, l'économie totale aurait été d'environ 742 000 $.

L'économie serait sensiblement la même dans le cas des granulats fabriqués à partir de gravier. On économiserait 8 litres d'huile par tonne d'enrobé pour sécher le granulat parce que dans un mélange ouvert qui est composé de pierres, on n'a pas à chauffer les particules fines.

L'économie serait sensiblement la même dans le cas des granulats fabriqués à partir de gravier. On économiserait 8 litres d'huile par tonne d'enrobé pour sécher le granulat parce que dans un mélange ouvert qui est composé de pierres, on n'a pas à chauffer les particules fines.

Toutefois, pour éviter le rejet de quantités considérables de particules fines, il fallait concevoir la granulométrie des mélanges de façon à optimiser l'utilisation du matériau brut, c'est-à-dire utiliser le maximum de granulats dans une tonne.

2. MÉTHODOLOGIE

Les données utilisées pour analyser la performance des mélanges bitumineux ouverts (MBO) proviennent de trois sources. D'abord un vaste sondage réalisé en 1983 auprès des districts, des entrepreneurs et des surveillants du Service de l'assurance de la qualité du MTQ nous donne des renseignements sur les contrats effectués en 1982 et 1983. Ensuite, plusieurs districts, après avoir effectué un relevé qualitatif de leurs contrats de 1982 à 1987, ont fait parvenir les résultats de leur recherche à la Direction de la construction du MTQ. Enfin, un comité a été créé en 1987 pour réunir, sur le sujet, les opinions des spécialistes et des surveillants de travaux. Ce comité, composé de représentants des services du Laboratoire central, des Sols et chaussées et de la Direction de la construction, a rassemblé des informations pertinentes sur le comportement des MBO, visité des travaux et discuté avec les concepteurs et les surveillants de travaux.

L'analyse de ces données met en lumière, dans les paragraphes qui suivent, les problèmes rencontrés lors de la confection, de la réalisation et de l'utilisation des MBO.

3. LES PROBLÈMES

3.1 Les problèmes chez l'entrepreneur

Les principaux points négatifs soulevés par les entrepreneurs pour la confection du MBO sont l'usure de la machinerie, les difficultés de production et d'entretien, la perte de granulats et la perte de profits.

Plusieurs entrepreneurs ont indiqué que la fabrication du MBO provoquait une usure plus rapide des équipements de la centrale d'enrobage tels que le tambour sécheur, les chutes, les tamis, le malaxeur et la vis sans fin qui conduit le mélange au silo. Une usure prématurée a été notée au niveau des épandeuses, plus spécialement à la table vibrante et à la vis de répartition du matériel. De plus, on a noté des problèmes de brûlure des sacs du dépoussiéreur. Les moyens utilisés pour diminuer la température dans le dépoussiéreur ont été l'introduction d'air ambiant plus frais ou l'ajout de sable humide; encore là, on chauffe inutilement parce que le sable doit être rejeté et, dans le cas d'un sécheur-enrobeur, la granulométrie serait hors norme puisque le sable ne peut pas être rejeté.

La production horaire à la centrale diminue, car pour un MBO le malaxeur contient, par exemple, 3,75 tonnes au lieu de 5 tonnes la fournée. Le malaxeur étant rempli à pleine capacité, l'enrobage des granulats est plus difficile.

Le nettoyage de l'équipement est plus long parce que le bitume colle aux équipements avec les pierres lors d'un refroidissement. De plus, le bitume coule dans les boîtes de camion car les agrégats perdent une partie de la couche de bitume qui les enrobe.

Les gravières deviennent mal exploitées. La nécessité d'utiliser la pierre pour le mélange MBO oblige l'entrepreneur à faire de grosses réserves de sable. Cela diminue les profits des entrepreneurs parce qu'ils seront forcés de faire des mélanges bitumineux ayant des textures plus fines (MB-6, ou MB-7), ce qui implique un pourcentage de bitume plus élevé pour utiliser les réserves de sable. Comme un mélange conventionnel nécessite rarement plus de 65% de pierres et qu'un MBO en prend au moins 95%, le prix des granulats sera donc plus élevé, la pierre étant plus dispendieuse que le sable. Finalement, les entrepreneurs ne pouvant pas fabriquer d'autres genres de mélanges lorsqu'ils font du MBO, ne peuvent plus répondre aux demandes de leurs clients, d'où une perte de profits.

3.2 Les problèmes causés par la circulation

Dans quelques cas, le mélange MBO a bien réagi au trafic: l'arrachement était pratiquement nul et aucune déformation apparente n'a été observée.

Cependant, pour la majorité des contrats, des problèmes d'arrachement ou de stabilité du mélange sont apparus suite au passage des véhicules automobiles. On mentionne qu'à une température ambiante élevée, le mélange devrait être arrosé afin d'augmenter sa stabilité, surtout avant que les véhicules utilisent à nouveau la route. Mais il est quand même apparu que l'arrosage n'était pas suffisant pour faire disparaître les problèmes d'arrachement. Le mélange ayant tendance à se déformer lorsque la température ambiante se rapproche de 30°C, les camions et l'épandeuse laissent des empreintes dans la couche de MBO.

L'utilisation d'une sableuse pour un épandage de sable au taux de 1 kg/m^2 diminue l'adhérence entre les pneus et le mélange, ce qui élimine temporairement l'arrachement. Cet arrachement est plus sévère dans les côtes, les courbes prononcées, les zones d'accélération et de décélération, aux endroits où le trafic routier est très intense, là où il y a des charges lourdes et enfin, lorsque les véhicules circulent à vitesse élevée.

Plusieurs essais ont été faits pour protéger le MBO. Idéalement, il ne faudrait pas qu'il y ait de circulation lors des travaux car les véhicules endommagent le revêtement si le MBO est encore chaud. Mais il s'avère pratiquement impossible d'interdire toute circulation. Dans ce cas les véhicules devraient utiliser les accotements de la route. Aussi, a-t-on décidé de faire le revêtement une bande à la fois; les véhicules roulant alors sur les accotements, le mélange a le temps de refroidir et de se stabiliser.

Selon certains entrepreneurs, le contrôle du trafic avec une camionnette pilote aiderait à améliorer cette situation. Pour d'autres, l'utilisation d'un rouleau à environ 500 mètres en arrière de l'épandeuse pourrait replacer les granulats arrachés par le trafic.

Sauf pour de très rares exceptions, les responsables sont d'accord pour tout mettre en oeuvre afin de minimiser le délai entre la pose du MBO et celle de la couche de recouvrement. Ce délai entre la pose des deux couches serait de 4 à 10 heures. Idéalement, la pose de la couche de surface devrait se faire le même jour que la pose de la couche de base et la circulation ne devrait pas recommencer avant la fin de la pose de la couche de surface.

3.3 Les problèmes de pose, de compaction et de transport

Les problèmes observés dans le comportement du mélange lors de la pose sont généralement reliés à la température du mélange et à la température ambiante.

Lorsque la température extérieure est plus haute que 20°C, et dans des conditions ou l'ensoleillement est permanent, la surface du MBO ne peut pas atteindre, comme lors d'une pose normale, une température de rigidité dans des délais raisonnables (2,5 à 3 heures). Les rayons solaires réchauffent la surface du mélange et, après un certain temps, réchauffent toute la masse à une température plus haute que la température ambiante.

C'est pourquoi, à une température ambiante élevée, un arrosage aide à obtenir une stabilité du mélange suffisante pour permettre aux véhicules de circuler. A titre d'indication, des mesures de rigidité du mélange ont été prises en fonction de sa température:

à 37°C:
- le mélange se déforme encore sous le rouleau;
- le MBO accepte un trafic normal si la surface est sablée et la vitesse bien contrôlée;
- le MBO n'accepte pas le trafic lourd car il se produit de l'arrachement;

à 34°C:
- le mélange accepte bien le trafic;
- il y a formation d'ornières sous le passage du trafic lourd;

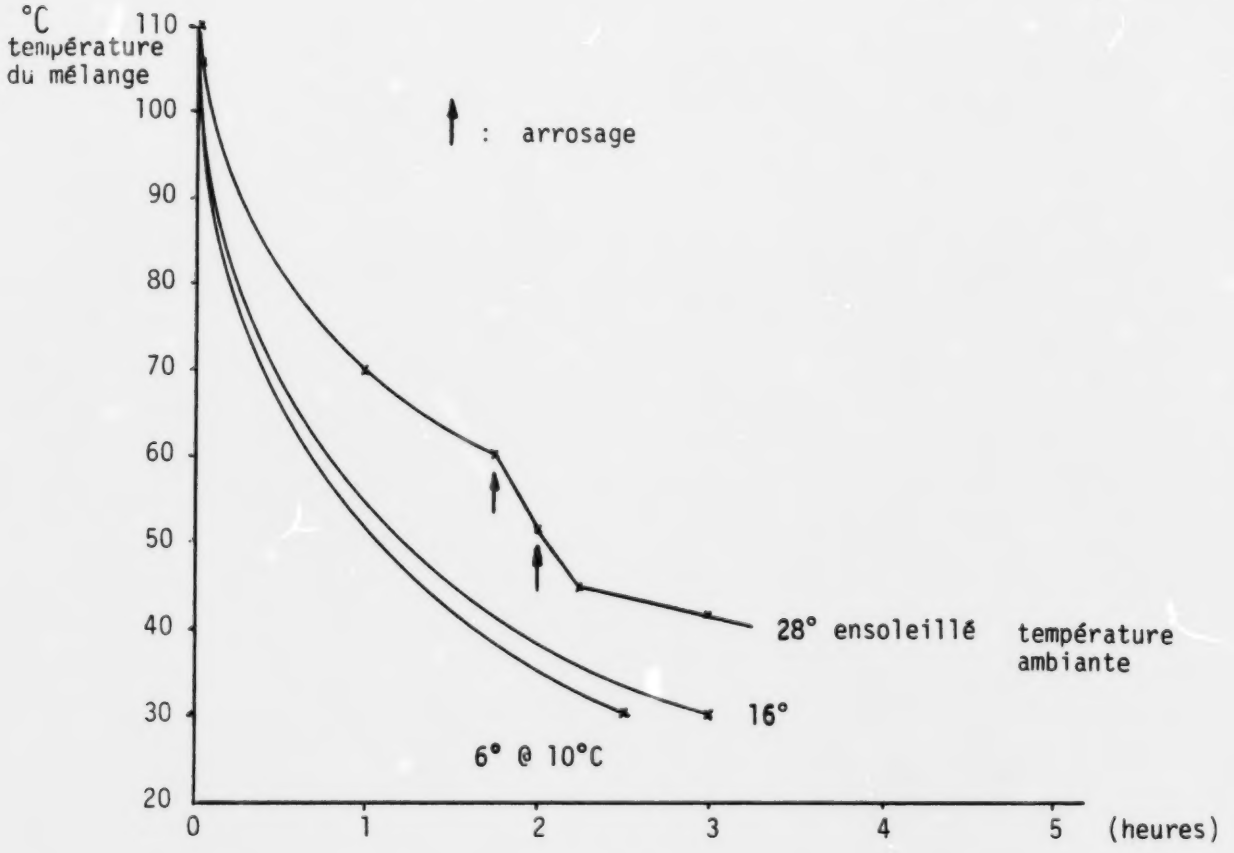
à 30°C:
- le mélange est très rigide.

Un mélange ayant atteint sa rigidité à 30°C avec une température ambiante de pose de 18°C, par temps nuageux, est devenu instable quelques heures plus tard avec l'apparition du soleil et une augmentation de la température extérieure à 24°C. La température du mélange est alors montée à 42°C, les traces de pneus sont apparues et les problèmes d'arrachement sont devenus plus importants.

Le temps que prend le MBO pour devenir rigide varie en fonction de la température extérieure ainsi que du degré d'ensoleillement. Comme on peut le voir à la figure 2, à une température extérieure de 28°C, le mélange n'atteint pas sa rigidité s'il fait soleil, alors qu'aux températures de 6 à 16°C par temps mi-ensoleillé, mi-nuageux, le temps nécessaire au mélange pour devenir stable varie de 2,5 à 3 heures.

FIGURE 2

Stabilité des MBO



Source: Direction de la construction, Transports Québec, 1987

Selon certaines personnes interrogées, une température ambiante trop basse provoque aussi des problèmes. Ainsi, durant la première demi-heure, le mélange refroidit très vite et, dans ce cas, le cylindrage doit être fait rapidement. De plus, il y aurait un problème de formation de mottes du mélange lorsque le transport est trop long et lorsque le mélange sort de la centrale un peu plus froid que la température minimale requise. On a remarqué que ce problème survient quand le mélange est fabriqué à des températures variant de 110 à 120°C, alors que la température idéale du mélange est de 135° à 140°C à la sortie de la centrale. Ces mottes ne se désagrègent pas et doivent être mises de côté avant que le mélange atteigne le tablier de la profileuse.

Pour contrer les problèmes de basse température ambiante, il est souhaitable que le mélange sorte de la centrale à la plus haute température permise, surtout si la distance de transport est importante. D'un autre côté, on a remarqué qu'à haute température la pose du mélange est très difficile. Dans ce dernier cas, le mélange est plus long à refroidir; il est très flexible après l'épandage et le compactage produit une expansion transversale et une plus grande densification au centre de la voie. Ainsi, il est préférable que la température du mélange soit aussi basse que possible pour accélérer la prise, le cylindrage et la pose en général, mais tout en étant assez élevée pour éviter la formation de mottes.

Quoique le début du compactage est prévu lorsque la température du mélange atteint 70°C, les entrepreneurs et les surveillants ont constaté que la température de pose et de compactage qui donne les meilleurs résultats varie de 90° à 100°C. Le compactage à cette dernière température peut se faire presqu'immédiatement après la pose, ce qui a semblé diminuer l'arrachement par l'accentuation de la liaison des agrégats. Toutefois, il y a un grand risque de déplacement latéral, et c'est pourquoi il est important que les premières passes du compacteur soient faites à environ 300 mm des bords.

De plus, étant donné qu'on ne peut pas atteindre une température de rigidité avant une période de 3 heures et plus si la température ambiante est élevée, les bandes doivent être le plus longues possible, allant même jusqu'à 500 mètres. Le trafic est alors dirigé sur l'autre voie et sur l'accotement jusqu'à ce qu'une stabilité minimale soit atteinte sur la bande de MBO déjà posée. Cependant, un joint froid central se crée et un liant doit être appliqué sur celui-ci avant la pose de la deuxième bande.

Le déplacement transversal sous le cylindrage est proportionnel au taux de pose du mélange. Plus le taux de pose est bas, plus il est facile d'atteindre la stabilité rapidement et, par conséquent, de diminuer les déformations au niveau des ornières et du déplacement latéral. Par exemple, à un taux de 160 kg/m^2, le cylindrage produit un déplacement latéral à une température de 70°C. Des entrepreneurs ont même mis en place la couche MBO avec une forte couronne (de l'ordre de 4 à 5%), afin d'éviter un abaissement du centre de la route lors du compactage.

La première passe de compactage après la pose a été quelquefois dynamique et d'autres fois statique. Pour la première passe, les deux méthodes ont donné de bons résultats. Les autres passes étaient généralement statiques. Les passes de rouleaux statiques étaient même prolongées pour tenter de contrôler l'arrachement après la compaction finale. Par ailleurs, on a remarqué que les les particules se séparaient lorsque le rouleau passait sur le mélange refroidi. Ces deux derniers comportements peuvent différer en fonction de la température du mélange et de la température ambiante.

On a noté également que la couche de surface ne doit pas être posée sur la couche de base avant que celle-ci ne soit complètement stable. Même dans ce cas, la chaleur dégagée lors de la mise en place de la couche de surface a tendance à réchauffer la couche de base et ainsi à lui enlever toute stabilité et compacité, ce qui produit des déchirements au niveau de la couche de surface.

Dans certains cas, le profil de la couche de surface était beaucoup moins réussi que celui de la couche de base. C'est la chaleur qui se transmet entre les deux mélanges qui serait responsable de cette lacune. La chaleur de la couche de surface déstabilise la couche de base et cause des déformations sous l'effet des impacts transmis lors des arrêts et des départs de l'outillage de pose. Malgré tout, tous les intervenants sont d'accord pour recouvrir les surfaces de base le plus rapidement possible afin de diminuer l'arrachement de la surface.

3.4 Les problèmes de confection du mélange

La granulométrie des granulats et le pourcentage de bitume utilisé sont responsables des principaux problèmes qui se produisent lors de la confection du MBO. Problèmes qui, sur le chantier, affecteront la stabilité du mélange.

De façon générale, la proportion d'agégats fins dans les MBO est très faible comparativement à celle d'un mélange dense conventionnel. Cette diminution des particules fines augmente le pourcentage de vides et réduit la quantité de bitume nécessaire pour enrober les granulats. Ce qui est spécifique au MBO, c'est l'utilisation d'un granulat qui passe le tamis 19 à 9,5 mm et qui contient moins de 5% de particules passant le tamis 4,75 mm; il est ensuite mélangé à une proportion de bitume qui varie de 1,5 à 3%. Un critère de fixation du pourcentage de bitume est le film de bitume effectif (FBE) qui doit se situer entre 8 et 10 um. Ce critère permet de s'assurer de la qualité de l'enrobement des granulats.

Les essais effectués en laboratoire sur des mélanges ouverts ont démontré que le film de bitume effectif est difficilement mesurable pour un même granulat, puisqu'il varie selon la densité et la surface des granulats. La surface d'un granulat est exprimée par

un facteur de surface spécifique pour un tamis donné (SST). Ce facteur étant conçu pour des particules cubiques. il devient erroné si les granulats sont de forme allongée. Donc, si la surface spécifique totale réelle du granulat est inférieure à la surface spécifique totale calculée, le film de bitume calculé devient insuffisant pour assurer la stabilité au mélange.

C'est pour cette raison que sur des chantiers on déterminait visuellement que le mélange manquait de bitume, malgré le fait que la formule de mélange rencontrait les exigences du devis. Ce manque de bitume provoque un manque de cohésion entre les particules, d'où une instabilité. La crédibilité des critères du SST et du FBE a donc été fortement mise en doute, puisqu'ils ne donnaient pas une appréciation juste du bitume requis dans le mélange. On devait donc s'assurer visuellement d'avoir un pourcentage de bitume adéquat avant d'autoriser la pose.

Ainsi, aux endroits où, sur un chantier, l'échantillonnage a démontré un accroissement de particules fines dans le granulat sans qu'un accroissement du pourcentage de bitume ait été noté dans le mélange, on a constaté un arrachement sévère de la couche de surface sous l'effet du trafic routier.

Afin de prévoir toutes les éventualités de malfaçon telles que le manque de bitume ou la présence de particules fines en excédent, on a proposé qu'un pourcentage minimum de bitume soit établi pour tous les MBO. Ainsi, la teneur en bitume à utiliser doit correspondre à la capacité d'un type de granulat à conserver un FBE convenable à une température donnée, sans qu'il y ait perte de bitume dans les boîtes de camion lors du transport.

A cause de cela, plusieurs districts du MTQ ont modifié la granulométrie initiale du MBO en y ajoutant des particules fines. Cette augmentation a eu pour effet d'éliminer les pertes de bitume à la centrale lors de l'enrobage et dans les boîtes de camion lors du transport. Cet ajout a aussi augmenté la cohésion entre les

pierres, d'où une diminution considérable de l'arrachement de la couche de surface. Ceci nous indique donc que l'arrachement est probablement causé par un manque de points de contact entre les granulats.

La modification granulométrique du mélange par l'ajout de particules fines a augmenté la stabilité du mélange et a facilité le cylindrage. De plus, elle a permis de diminuer le temps d'attente sur la route avant de pouvoir autoriser les véhicules à circuler de nouveau. Le fuseau granulométrique le plus satisfaisant se situait vers la partie fine du fuseau du mélange ouvert utilisé dans le secteur "entretien".

TABLEAU II

Granulométries types

Tamis		MBO	MO (entretien)
		%	%
25	mm	100	100
19		90-100	80-100
16			
13,2			
12,5		20-55	20-60
9,5		0-15	
4,75		0-5	6-20
2,36			
1,18			2-10
600	um		
150			
75			1-4

Source: Direction de la construction et de l'entretien, Transports Québec, 1987

Notons que pour les MBO, la teneur en bitume était généralement inférieure à 2%, alors que pour le MO elle était de 3%.

Enfin, on peut retenir qu'une granulométrie plus étalée que celle proposée au MBO et une augmentation du pourcentage de bitume sont des facteurs qui ont augmenté la stabilité des mélanges sur la route.

3.5 Les problèmes du contrôle de la qualité

Les méthodes d'échantillonnage des entrepreneurs et du Ministère n'étant pas les mêmes, l'un prélève ses échantillons à la centrale et l'autre sur le chantier, les résultats étaient donc légèrement différents. Différence qui est due à une certaine perte de bitume autour des granulats dans les appareils de prélèvement et dans les contenants.

La détermination du pourcentage de bitume et du film de bitume n'a pas toujours produit les résultats escomptés. En effet, on a remarqué, à quelques reprises, un mauvais enrobage des granulats malgré l'acceptation du pourcentage de bitume et du film de bitume par le laboratoire.

Les entrepreneurs ont aussi signalé que des différences existent dans les résultats des essais au niveau granulométrique.

4. L'ASPECT ÉCONOMIQUE

Les problèmes rencontrés lors de la confection et de la pose du MBO ont amené des dépenses qui sont venues s'ajouter au coût de base du mélange. Et on doit ensuite comparer le coût à celui d'un mélange plus dense de type MB-2, ceci afin de vérifier si on économise réellement le montant prévu lors de l'implantation de cette méthode de travail.

4.1 La comparaison des mélanges MBO et MB-2

Le pourcentage en poids de bitume utilisé pour le MBO a été en moyenne de 2%, alors qu'il se situe à près de 5,5% pour le MB-2.

En se basant sur le coût du bitume à Québec en 1987, soit 210 $ la tonne, le coût du bitume pour une tonne de MBO est de 4,20 $, alors qu'il représente 11,55 $ pour une tonne de MB-2.

L'étude des contrats nous montre que les taux de pose ont été, pour une route principale, les mêmes pour les deux mélanges, soit un taux de 150 kg/m^2 et une couche de surface de 110 kg/m^2. L'épaisseur du MBO est donc plus grande que celle d'un MB-2. En effet, le pourcentage de vides dans un MB-2 varie de 2% à 6%, alors qu'il est de 20% à 30% pour le MBO. Pour un même volume, le mélange ouvert est plus léger qu'un mélange conventionnel. Contrairement aux prédictions des gestionnaires, la différence de densité des mélanges n'a pas entraîné d'économie de coûts. En effet, si l'épaisseur du MBO et du MB-2 est la même, le taux de pose du MBO renferme beaucoup plus de vides. Dans ces conditions, une écomomie appréciable au niveau du transport aurait pu être envisagée. Cependant, le taux de pose étant demeuré fixe pour les deux mélanges, on a donc eu un coût de transport identique dans les deux cas.

En conséquence, l'épaisseur du MBO a augmenté. L'analyse des contrats nous a de plus montré que la couche de surface était du même type et posée à un même taux, que ce soit sur une couche de base en MBO ou en MB-2. Le gain en épaisseur du MBO n'a donc pas entraîné de diminution du taux de pose de la couche de surface.

L'augmentation de l'épaisseur du MBO implique une augmentation de l'épaisseur des accotements, d'où la pose d'une quantité supplémentaire de gravier concassé qui se traduit par des coûts supplémentaires. Pour un gravier ayant un facteur de conversion de 2,2 tonnes/m^3, nous pouvons estimer quelle sera la différence dans la quantité de gravier qui sera nécessaire pour combler les accotements près d'un MB-2 et d'un MBO.

Prenons, par exemple, un kilomètre de route avec un accotement de 3,5 mètres. La largeur totale d'accotement à recouvrir sera, pour

les deux voies, de 7 mètres. Maintenant, pour un mélange dense de type MB-2, 25 mm de revêtement représentent un taux de pose de 60 kg/m^2. Donc, pour 150 kg/m^2, le mélange aura une épaisseur de 62 mm, tout comme l'accotement gravelé. Pour un MBO, le mélange a un pourcentage de vide de 20% supérieur au mélange dense, et on peut supposer que l'épaisseur du mélange augmente en conséquence, ce qui donne 74 mm pour le même taux de pose. La différence d'épaisseur des accotements pour les deux mélanges est donc de 12 mm. Pour un kilomètre de route, la quantité supplémentaire de gravier pour les accotements près d'un MBO sera de 185 tonnes. Le calcul de ce coût doit comprendre l'achat du matériel, les coûts de transformation, de transport et de pose.

4.2 La fabrication à la centrale

Le coût de chauffage du granulat à la centrale est très discutable. Des entrepreneurs mentionnent qu'il coûte plus cher en huile pour chauffer le granulat du MBO, car il est moins dense et le temps de chauffage plus long. En effet, il est possible que le temps de séchage soit plus long, puisque la transmission de chaleur entre les agrégats se fait plus difficilement que dans un mélange dense. Par contre, plusieurs entrepreneurs n'ont pas cru bon de mentionner cet item. Il devient donc très hasardeux de parler d'économie ou de coût supplémentaire relié à la quantité d'huile nécessaire au chauffage du granulat.

Le manque de particules fines dans le granulat entraîne une usure prématurée de plusieurs pièces de la centrale d'enrobage. Ces coûts assumés par les entrepreneurs n'ont pas été mesurés mais ils provoquent du mécontentement.

Par rapport à un mélange conventionnel, la fabrication d'un MBO entraîne à la centrale une perte d'en moyenne 15% au niveau de la

production. C'est la faible densité du MBO qui cause cette perte, le malaxeur contenant alors en poids 20% de moins de mélange. Ainsi, l'entrepreneur perd des ventes, puisqu'il ne peut pas produire d'autres mélanges durant la fabrication du MBO.

4.3 La pose

Les problèmes reliés à la pose du mélange sont nombreux. Les retards à la centrale lors de la confection du MBO se traduisent par un temps d'attente sur le chantier. Cette perte est évaluée à 15% du coût de l'équipe de pose. L'autre problème vient cette fois du chantier où, avant de poser la deuxième bande de mélange, on doit attendre que la première soit stabilisée. Situation qui provoque à la centrale un temps d'attente plus ou moins long avant de produire le MBO de la seconde bande. Ainsi, les rouleaux doivent travailler très longtemps après la pose afin de minimiser, jusqu'à ce que le mélange devienne stable, les problèmes d'orniérage et d'arrachement. Par temps chaud, sous le soleil, la stabilité du mélange peut être impossible à obtenir. Comme le MBO doit être stable avant de recevoir à nouveau les véhicules routiers, le temps d'attente de la machinerie peut augmenter considérablement avant la pose de la deuxième bande du mélange de base ou encore de la couche de surface. Lorsque le mélange se déstabilise sous l'effet du soleil et de la température, l'entrepreneur doit garder en place un rouleau statique pour contrôler l'arrachement et l'orniérage. Plusieurs entrepreneurs utilisent un camion arroseur afin d'augmenter la vitesse de stabilisation du mélange.

Les grandes distances de transport ou l'abaissement de la température provoquent une prise accélérée du mélange MBO ce qui produit des mottes. Les mottes doivent alors être enlevées manuellement avant d'atteindre la table vibrante de l'épandeuse. Cette manutention de matériaux augmente le coût de la main-d'oeuvre lors de

la pose. De plus, la prise rapide du mélange oblige les entrepreneurs à nettoyer la machinerie à la fin de chaque journée de travail.

Dans de nombreux cas, les entrepreneurs ont dû ajouter des signaleurs afin de mieux contrôler la circulation à cause des bris sur le MBO. Ces coûts n'auraient pas été encourus si un mélange MB-2 avait été utilisé.

4.4 Les granulats

Les gravières sont exploitées de façon à en retirer la partie pierreuse. Les parties sableuses sont laissées pour compte et deviennent à peu près inutilisables à court terme. Ce gaspillage des matières premières représente un coût très appréciable. En effet, dans un mélange bitumineux, on utilise généralement la pierre, la criblure et le sable. Dans le mélange MBO, on n'utilise que la pierre. Selon le Comité des prix du ministère des Transports, un mélange conventionnel se compose de granulats dans les proportions suivantes:

Pierre	50%	6,99 $	:	3,50 $
Criblure	25%	4,10	:	1,03
Sable	25%	2,56	:	0,64
	prix moyen		:	5,17 $

Pour le MBO, 50% du granulat est laissé sur place. Pour chaque tonne de MBO produite, on utilise 50% de pierre au maximum et on laisse 50% et plus de rebuts dans la source de gravier. Cet épuisement prématuré des gravières entraînera le recours à des carrières à plus court terme. Etant donné qu'un granulat de carrière est beaucoup plus dispendieux qu'un granulat de gravière, on peut estimer, à moyen terme, une hausse importante du prix unitaire d'une tonne d'enrobé bitumineux à cause de la hausse du prix des granulats.

Si un entrepreneur veut réutiliser les réserves de criblure et de sable, il devra fabriquer des mélanges bitumineux qui nécessitent moins de pierre mais, par contre, plus de bitume. Ces types MB-6 et MB-7 nécessitent près de 2% de plus de bitume en poids que les mélanges généralement utilisés, soit les MB-3 et MB-4. Ce coût supplémentaire de bitume doit être absorbé par l'entrepreneur lorsqu'il produit des mélanges pour d'autres clients que le Ministère. Une grande partie de l'économie en bitume faite en fabriquant un mélange MBO devient nulle à cause de la réutilisation des résidus de granulat fins pour fabriquer un mélange MB-7.

4.5 Les autres considérations

La perturbation du trafic et les attentes causées par le manque de stabilité du mélange entraînent des coûts aux usagers.

L'arrachement de la couche de surface lors de nombreux contrats a entraîné des réclamations pour le changement de pare-brise ou de phares. Aussi, étant donné que le mélange tend à se déstabiliser sous certaines conditions, un orniérage prématuré peut entraîner des coûts d'entretien à plus court terme.

5. LA SOMME DES COÛTS

5.1 Le coût de base du mélange

Les prix unitaires de 1988 utilisés ici proviennent du Comité des prix du ministère des Transports.

TABLEAU III

Coûts comparatifs du MBO et du MB-2

Type du mélange	MBO	MB-2
(1) coût des granulats	6,99 $	5,17 $
(2) coût de l'enrobage	6,20	5,39
(3) chauffage, huile (+ 10% adm. + 9%)	2,88	2,88
pesée	0,11	0,11
sous-total	16,18	13,55
taxe d'accise 8%	1,29	1,08
Sous-total	17,47	14,63
Coût du bitume + 9%	4,59	12,59
(4) Transport du bitume (100 km de Québec + 10% adm.)	0,24	0,66
Prix à la tonne	22,30 $	27,88 $

(1) Le coût des granulats est fixé pour la pierre au MBO et pour le mélange pierre, criblure et sable pour le MB-2.

(2) Le coût de l'enrobage est augmenté de 15% pour le MBO afin de compenser la perte de production à la centrale.

(3) Aucune différence de prix n'est prouvée entre les deux mélanges. Le coût est donc équivalent.

(4) Le coût de base du transport du bitume est de 10,85 $ plus 10% pour les frais d'administration et les profits. Pour le MBO, on utilise 2% du coût et pour le MB-2, 5,5 %.

Source: Direction de la construction, Transports Québec, 1987

5.2 Le coût au kilomètre de route pour le mélange

	Largeur	Taux	Quantité	Prix unitaire	Total
MBO	8,2	150 kg/m^2	1 230 t	22,30	27 429,00 $
MB-2	8,2	150 kg/m^2	1 230 t	27,88	34 292,40
					6 863,40 $

5.3 Le coût supplémentaire des accotements si on utilise un MBO

185 tonnes de gravier 20-0; achat moyen provincial: 6,80 $ (incluant la mise en réserve, le chargement et le pesage). Le coût provient de l'item 601225 de la "Liste et prix des ouvrages d'infrastructures de transport", édition mai 1987.

185 t X 6,80 $/t = 1 258 $

5.4 Le coût de pose

Selon le Comité des prix unitaires, le coût de pose pour une couche de base en milieu rural est de 5,28 $/tonne. On a déterminé une perte du coût de pose de 15%, ce qui représente 0,79 $/tonne.

Pour un kilomètre de route, on trouve:

1 230 t X 0,79 $/tonne = 971,70 $

5.5 Le coût à l'entrepreneur pour utiliser les rebuts de granulats

Un mélange de type MB-7 comprend 2% de bitume de plus qu'un mélange conventionnel.
1 230 tonnes X 2% X 210 $ = 5 166 $

5.6 Les autres coûts

L'usure prématurée, le brûlage des sacs du dépoussiéreur, le nettoyage de la machinerie, l'impossibilité de fournir les autres clients, l'utilisation d'un camion citerne, l'utilisation d'un rouleau pour une période plus longue que la normale, les coûts aux usagers, les réclamations et les coûts futurs d'entretien sont tous des coûts qui ne sont pas calculés. On peut cependant les estimer à au moins 500 $ du kilomètre.

5.7 La synthèse des coûts

MB-2 : 34 292,40 $/km
MBO : 27 429 $ + 1 258 $ + 971,70 $ + 5 166 $ +
500 $ = 35 324,70 $/km

En considérant les coûts réels des deux types de mélanges, le MBO coûte environ 1 032 $ de plus le kilomètre qu'un mélange de type MB-2.

6. LA PERFORMANCE

Le MBO ne réagit pas toujours de la même façon. Bien que les ressemblances entre les contrats soient nombreuses, les succès et

les échecs dépendent souvent d'un simple détail. Les facteurs dont on doit tenir compte pour juger la performance des recouvrements MBO sont: la qualité de roulement, la capacité portante et la durée de vie.

Comme on l'a vu précédemment, la stabilité du MBO varie en fonction de la température ambiante et du degré d'ensoleillement. Un deuxième facteur qui affecte la stabilité est la granulométrie des granulats dans le mélange. Ainsi, plus la granulométrie est étalée, plus le mélange se compacte bien et devient stable à plus haute température. Dans ce cas, la température ambiante et l'ensoleillement sont de moindre importance. De plus, un mélange riche en bitume obtient une meilleure cohésion entre les granulats qu'un mélange trop pauvre. Enfin, comme les entrepreneurs l'ont signalé, le MBO redevient souvent instable lors de la pose de la couche de surface et celle-ci se déforme sous le passage du rouleau. La qualité du profil sur la couche de surface devient même moins bonne qu'elle l'était sur la couche de base. Aucune différence dans la stabilité n'a été remarquée parce que les granulats auraient été produits dans une carrière plutôt que dans une gravière. Si les granulométries des granulats,provenant de l'une ou l'autre source, sont étalées, le comportement est meilleur que pour une granulométrie à grains grossiers.

Il est très facile de se tromper lorsqu'on tente d'évaluer la capacité portante d'un MBO. Les effets visuels d'un manque de capacité portante sont l'orniérage et la fissuration. Les rencontres faites avec les surveillants des ouvrages dans les districts ont permis de confirmer qu'un défaut des fondations apparait toujours en surface après un certain temps sous forme de fissuration polygonale. Mais on ne peut pas imputer au MBO de telles fissurations, car il existe toujours un doute qu'un défaut dans la fondation soit responsable de cette situation. Les fissures longitudinales, par contre, apparaissent dans la majorité des cas d'insuccès du MBO. On rencontre souvent la fissure longitudinale vis-à-vis du joint central de la chaussée. Cette fissure est

généralement causée par le joint froid situé entre les deux voies lors de la construction. Il y a d'autres fissures longitudinales au centre des ornières et près du bord du pavage. Ces fissures de la couche de surface sont causées par le manque de support de la couche de base. Pour un mélange de base très instable, c'est-à-dire un mélange à granulométrie grossière et à basse teneur en bitume, on peut rencontrer les fissures dans les deux ornières d'une voie.

Il semble y avoir une relation directe avec la diminution des fissures longitudinales sur le bord du pavage lorsque la couche de base est posée sur une plus grande largeur que celle de la couche de surface.

Pour un MBO de bonne qualité, l'orniérage n'est pas plus important que pour une couche de base de type MB-2. On a en effet mesuré, sur l'autoroute 40, des ornières à des endroits précis sur des sections voisines ayant un MBO et un MB-2 comme couche de base. Ces mesures ont été prises en des points précis à différentes périodes de l'année. On peut donc conclure qu'au printemps, l'orniérage est plus fort qu'en d'autres saisons mais qu'il varie aussi dans les saisons d'été et d'automne. Les mélanges MBO et MB-2 présentent tous deux une certaine instabilité.

Les problèmes d'entretien des routes ayant un MBO comme couche de base apparaissent surtout le printemps. Cette faiblesse du MBO est causée par la présence d'eau. En effet, dans la majorité des cas, l'accotement de la route est fait avec un gravier de calibre 20-0 qui est à toute fin pratique imperméable. Le MBO forme donc un caisson où l'eau s'accumule. Lorsque la route a une pente longitudinale, l'eau tend à s'écouler vers le bas de la pente et, à un endroit quelconque vers le bas de la pente, la couche de surface se brise et l'eau s'écoule sur la route. Pour corriger une telle situation, on a refait les accotements d'une autoroute,

au bas de la pente, avec de la pierre nette concassée. L'eau a donc pu être évacuée vers les fossés sans mettre en danger la qualité de la surface de la chaussée.

La capacité du MBO de pouvoir contenir beaucoup d'eau à cause de son pourcentage de vides peut, à plus ou moins longue échéance, avoir des conséquences néfastes sur les fondations. En effet, un gravier marginal baignant dans l'eau perd sa capacité portante à court terme, ce qui produit de l'orniérage et de la fissuration.

L'eau emprisonnée dans un MBO tard à l'automne cause certainement des dommages à la suite du gel et du dégel. Une étude en laboratoire nous permettrait de connaître ces effets, en plus d'évaluer la capacité de support d'un MBO en état de saturation.

Si quelques cas ont connu un succès, la majorité se sont soldés par un échec. Comme on l'a vu précédemment, les chances de succès sont très minces puisqu'il existe de nombreux facteurs qui peuvent conduire à un échec. De plus, ces facteurs sont pratiquement impossibles à contrôler.

Enfin, pour compléter cette analyse on devrait pouvoir répondre à la question suivante: "quelle est la durée de vie d'un MBO?" Mais les données disponibles actuellement ne permettent pas de déterminer avec exactitude quelle est cette durée de vie.

7. CONCLUSION

L'impact de l'augmentation du coût des produits pétroliers a incité les gestionnaires à essayer des méthodes de construction pouvant permettre une diminution de l'utilisation de ces produits.

Une des méthodes préconisée a été l'utilisation des mélanges ouverts à granulats grossiers à basse teneur en bitume pour remplacer, comme couche de base d'un revêtement bitumineux, un mélange dense à plus haute teneur en bitume.

Dans un souci de saine gestion, les autorités du Ministère ont décidé d'étudier la performance de cette méthode afin d'obtenir de nouveaux éléments d'information concernant la décision d'utiliser ou non le MBO dans le futur.

L'utilisation des MBO a causé de nombreux problèmes chez les entrepreneurs lors de la confection du mélange, son transport et sa pose. De graves problèmes de stabilité sont apparus; ceux-ci étant causés par l'ensoleillement et la haute température ambiante ou encore par une granulométrie peu étalée à basse teneur en bitume.

L'aspect économique nous indique que le prix de base pour une tonne de mélange MBO est 25% inférieur au mélange de type MB-2. Cependant, en considérant d'autres coûts comme la pose, les rebuts de sable et leur réutilisation, les coûts à l'entrepreneur et à l'usager de la route, il en résulte que le MBO est légèrement plus dispendieux qu'un MB-2.

Finalement, s'il y a des chances de succès, elles sont cependant très difficiles à obtenir. Les causes d'échec, elles, sont importantes et variées. De plus, une grande inconnue demeure: "quelle est la durée de vie d'un MBO?"

Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports